

博士論文要旨

論文題目

「第2世代アクリル系（SGA）接着剤を用いた接着体の破壊過程に関する研究」

論文提出者 上山幸嗣

本研究は、施工性の良さから産業上実用性の高い第2世代アクリル系（SGA : Second generation acrylic）接着剤を用いてハニカムサンドイッチパネルと板金接着を対象にした研究である。研究目的は①SGA 接着剤のハニカムサンドイッチパネルへの設計指針明確化と使用量削減、②接着体の破壊過程についてアコースティックエミッション(AE)を活用しての詳細把握、③応力解析に展開可能な接着部の破壊エネルギーの同定、の3点である。これらの目的は序章で明示された。

2章では、粘性・表面硬化性の観点から、ハニカムサンドイッチパネルに適したSGA接着剤を選定した。櫛目ごてを用いたストライプ状塗布の手法を用いることで、接着剤の使用量削減が剥離トルクを指標にした評価において可能であることを報告する。

3章では、ハニカムサンドイッチパネルの各種評価(剥離トルク、曲げ物性、フラットワイズ強さ)の調査を報告する。前述の3つの評価でSGA接着剤適用時の接着欠陥の影響度を明らかにしている。また、接着剤フィレットの断面形状を測定することで、それぞれの指標における接着剤フィレットの役割のちがいについても明らかにしている。2, 3章を通じて実験的にハニカムサンドイッチパネルにSGAを適用するときの設計指針が明確にされた。

4章ではハニカムサンドイッチパネルの曲げ試験においてAEを適用し、断面観察では検出困難なハニカムコアの座屈現象を的確に検出している。接着欠陥の影響についても再度検証され、接着剤フィレットのハニカムコアの座屈現象への補強効果についても明らかになっている。この章では試験速度依存性の実施を通じ、接着剤の「粘弾性効果」の影響についても検証されている。試験速度の変化による接着剤の物性変動がハニカムサンドイッチパネルにおけるAEの検出形態にも影響することが明らかになっている。

5章と6章では、SGA接着剤の凝集破壊を示しやすい特徴を活かすために、結合力モ

デル(CZM : Cohesive zone model)解析への正確な適用を目指した SGA 接着剤の面接着構造のエネルギー解放率の同定の取り組みを行っている。評価方法はテーパー付きの DCB 試験 (TDCB 試験), シングルラップのせん断, ENF(End notched flexure)試験の 3 種類を採用した。これらの試験においても AE の検出をあわせて実施している。また, 5 章, 6 章では 2 種類の SGA 接着剤を比較検証する形で実施している。

TDCB 試験では, 強度の低いハニカム用の SGA で AE シグナルが大きく検出数も多いことが認められたが, シングルラップのせん断や ENF 試験では強度の低いハニカム用 SGA は AE の検出自体が非常に乏しくなった。一方, 強度の高い構造用 SGA 接着剤では試験のモードによらず万遍なく AE の検出がなされている。これらの現象を解明するために, 接着体バルク体に対する透過電子顕微鏡(TEM)や試験後の破断面に対する走査型電子顕微鏡(SEM)による観察を実施した。その結果, エラストマー相とアクリル相がそれぞれの接着剤で「海島構造」と「共連続構造」のちがいがあることを確認した。この相構造のちがいは「AE 発生箇所」, 「AE 波の減衰」, 「AE 波の伝達経路」という現象の推定メカニズムの根拠となった。SEM 観察からは, 目視では凝集破壊するとしか判定できなかったものが, AE を多数検出する TDCB 試験において脆性的な破断面が観察され, AE 検出の乏しいせん断試験では延性的な破断面が観察された。これらの観察結果を統合し, 前述の試験方法による AE シグナルの検出感度のちがいに関する推定メカニズムを導出している。

SGA 接着剤は適度な延性を有するため, 亀裂の特定が脆性なエポキシ樹脂などより困難である。これを克服するためにモードIIの ENF 試験では「デジタル画像相関(DIC)でのひずみ分布可視化」と AE 計測を併用した評価を行った。その結果「実際の亀裂に相当する長さ」と, AE 発生箇所に着目した「実効的な亀裂長さ」の二つの視点からエネルギー解放率をより精度良く求めることが可能となり, 破壊のプロセスゾーンの推定ができる水準に至っている。

ENF 試験での負荷途中試験片に対し断面観察による微小な亀裂の確認を行い, クラックの発生と成長および大きな AE の発生と連動させた推定メカニズムについて明らかにしている。

6 章の研究の最終部では, 得られた破壊過程に関する実験結果を基に CZM モデルな

どの応力解析を行っていく場合に留意すべき点について提案を行っている。

7章（総括）これらの研究結果は、従来から実績のあるAEというセンシング手法を、DICやTEM・SEM観察などと併用評価することでSGAの接着部から更に多くの情報を引き出せることに関して実例をもって示したものである。材料解析の面では、エネルギー解放率算出だけでなくSGA内の高度に分散されたエラストマー相の存在形態と関連付けてAEの発生、伝達、減衰において考察を行っている。これはSGAのみならず他のエラストマーで変性された材料についてAE評価を行う際、重要な視点を与えるものである。